Proceedings of the
Latin-American Geothermal Congress 2025
LGC 2025
San Salvador, El Salvador
22–26 Sept. 2025

Modelo geológico para el área hidrotermal de Obrajuelo, El Salvador

Julio Rubio

LAGEO, SA de CV

(jrubio@gmail.com)

ABSTRACT

La evolución compleja de la Zona de Falla de El Salvador (ZFES) dio lugar a la formación de un graben y al crecimiento de edificios volcánicos en su interior. En las áreas intersegmentales del graben se desarrolló una deformación transtensiva que originó cuencas *pull-apart*. En este ambiente transtensivo se ubica el sistema hidrotermal de Obrajuelo como resultado de la combinación volcanotectónica regional.

Palabras clave:

Graben, pull-apart, transtensivo, roll-back, Zona de Falla de El Salvador

ABSTRACT

The complex evolution of the El Salvador Fault Zone resulted in the formation of a graben and the growth of volcanic edifices within it. In the intersegmental areas of the graben, transtensive deformation developed, giving rise to pull-apart basins. The Obrajuelo hydrothermal system is located in this transtensive environment as a result of the regional volcanotectonic combination.

Keywords:

Pull-apart, transtensive, El Salvador Fault Zone

INTRODUCCIÓN

Las primeras menciones del área hidrotermal de Obrajuelo se encuentran en el recuento de manifestaciones hidrotermales de El Salvador que realizó Meyer Abich [3]. Desde entonces se ha incluido en diferentes estudios (CEL-ONU, 1965) y CEL, con la *Universita degli Studidi* Pisa [4]. Más recientemente LAGEO elaboró el estudio geológico del área de Obrajuelo Apastepeque [5], identificándose la zona de Obrajuelo como la de mayor actividad hidrotermal. En 2024 se retomaron estos estudios enfocados en discernir el modelo geológico para el sistema geotérmico de Obrajuelo

1. METODOLOGÍA

Tomando como base el estudio geológico de Apastepeque – Obrajuelo [5] se delimitó una zona de interés para el área hidrotermal de Obrajuelo incluyendo el área del valle del río Lempa sumando aproximadamente 185 km^2. En esta zona se ha realizado

trabajo geológico de campo para su procesamiento y representación cartográfica con la ayuda de Google Earth y el software QGIS y utilización de imagen LIDAR para la actualización del mapa geológico. Se ha mejorado la descripción litológica y la representación de las diferentes unidades en el mapa para la elaboración de una propuesta de modelo geológico conceptual.

2. RESULTADOS

Marco tectónico local

El área de Obrajuelo se ubica dentro del graben central, en el margen occidental del *pull-apart* del Lempa que constituye la terminación oriental del segmento San Vicente de la ZFES [6]. El *pull-apart* del Lempa es una depresión tectónica formada por la deformación extensiva generada por la acomodación del desplazamiento lateral derecho entre dos segmentos de la ZFES, San Vicente al oeste y Berlín al este [1]. El solapamiento entre los segmentos de la ZFES provoca la formación de un cinturón de liberación de la deformación y una pequeña cuenca de *pull-apart* de geometría rómbica y, hacia el oeste, una estructura positiva interpretada como un *push-up* en la que se ubica el área hidrotermal de Obrajuelo. Este relieve positivo forma parte de un antiguo complejo volcánico, fuertemente tectonizado que creció en el graben.

La apertura del graben afectó sendas estructuras volcánicas al sur y al norte (el Pilón y Sihuatepeque, respectivamente) seccionándolos con fallas de rumbo E-O hasta ONO-ESE. La apertura de la cuenca *pull-apart* provocó un fallamiento normal de dirección aproximada NO-SE. Así se formó la depresión del Lempa, que fue colmatada por sedimentos epiclásticos y piroclásticos procedentes de la denudación de los edificios volcánicos circundantes y de erupciones contemporáneas.

En la Figura 1 se muestra esta evolución estructural en un esquema sinóptico en planta, a modo de mapa (Figura 1-2) y, a partir de una sección S-N a través del cerro Pilón y Moncholón (Figura 1-3), con un croquis de la propuesta del arreglo estructural.

Análisis estructural

A partir del análisis estructural de la imagen LIDAR se puede corroborar la hipótesis planteada para el marco estructural. Se aprecia la correspondencia entre el modelo teórico [1] y [6] y las fallas observadas de los segmentos principales de la ZFES, la terminación occidental del segmento Berlín al sur de la depresión del Lempa con orientaciones E-O e introduciéndose hacia el oeste, en Obrajuelo, con un giro hacia direcciones ONO-ESE y NO-SE. Las fallas normales mostradas en color azul en la Figura 2, presentan diversidad de orientaciones, principalmente NO-SE. N-S. NE-SO y ONO-ESE. Estas fallas, exceptuando las NE-SO, son las que acomodan la extensión que abre la depresión del Lempa.

3. DISCUSIÓN

Modelo estructural

La intercepción de las fallas de dirección ONO-ESE lateral derechas con las fallas de dirección NO-SE propician la apertura de la cuenca *pull-apart*, generando configuraciones estructurales favorables al emplazamiento de sistemas hidrotermales [7]. Las configuraciones que cabría esperar en el área de Obrajuelo se corresponden con el sistema de transferencia de desplazamiento [2]; [8]. Según estos autores, cabe esperar que las manifestaciones hidrotermales se presenten en el bloque hundido de las fallas normales. La Figura 2 muestra de forma esquemática esta distribución, diferenciando las estructuras NO (celeste) y las ONO (rosado). Por tanto, puede afirmarse que este modelo casa con las estructuras observadas en la zona y con el esquema dinámico estructural.

Modelo volcanotectónico

La presencia de diferentes centros efusivos nos relata una actividad volcánica posterior o contemporánea al colapso del edificio volcánico del cerro Moncholón. Esta segunda fase eruptiva puede explicarse por la actividad tectónica que secciona el edificio antiguo generando la descompresión y la apertura de nuevas vías de ascenso del magma.

Modelo geológico sistema geotérmico Obrajuelo

El arreglo estructural para el área hidrotermal de Obrajuelo corresponde a una estructura de transferencia del desplazamiento en forma de cola de caballo [2]. En las fumarolas se ha observado el alineamiento de fuentes (+90ºC) y puntos calientes en el suelo (+60ºC) sobre el trazo de la falla NO-SE que limita al sur el área hidrotermal activa. [8]. El análisis de las aguas de las fuentes en el área hidrotermal muestra presencia importantes de cloruros, indicando un ascenso de aguas profundas y mezcla con meteóricas. La zona de ascenso (*upflow*) probablemente se encuentre muy cercana a la actual área hidrotermal, dirigida a través de las estructuras NO-SE. A orilla del río Lempa se ha identificado un pozo (CC) de 14 m de profundidad con aguas a 60ºC con menor contenido de cloro, indicando probablemente la zona de descarga (*outflow*). Hacia el norte y el sur no se observa actividad hidrotermal ni suelos calientes, pareciendo que las estructuras ONO-ESE que intersecan las fallas NO limitan la extensión de la alteración térmica, encajonándola en dirección este, hacia el Lempa (pozo CC).

4. CONCLUSION

De acuerdo con el modelo estructural propuesto, la extensión inicia con las fallas E-O y ONO-ESE, primero como fallas normales y más tarde como direccionales derechos. Las fallas NO-SE y NNO-SSE se formarían en esta segunda fase como resultado de la acomodación de este movimiento direccional lateral. El cerro Moncholón se levanta como un volcán en el interior del graben. No obstante, la ausencia de vulcanismo joven activo y la activa dinámica estructural transtensiva, pueden relacionar la fuente calor con la circulación profunda a lo largo de fallas extensionales [9] Esta evolución tectónica implica un adelgazamiento cortical que puede permitir el ascenso de un flujo de calor que explique la anomalía térmica. Estas características clasifican el sistema hidrotermal de Obrajuelo [10] como de tipo volcánico con un control de la circulación de fluidos y permeabilidades por el arreglo estructural.

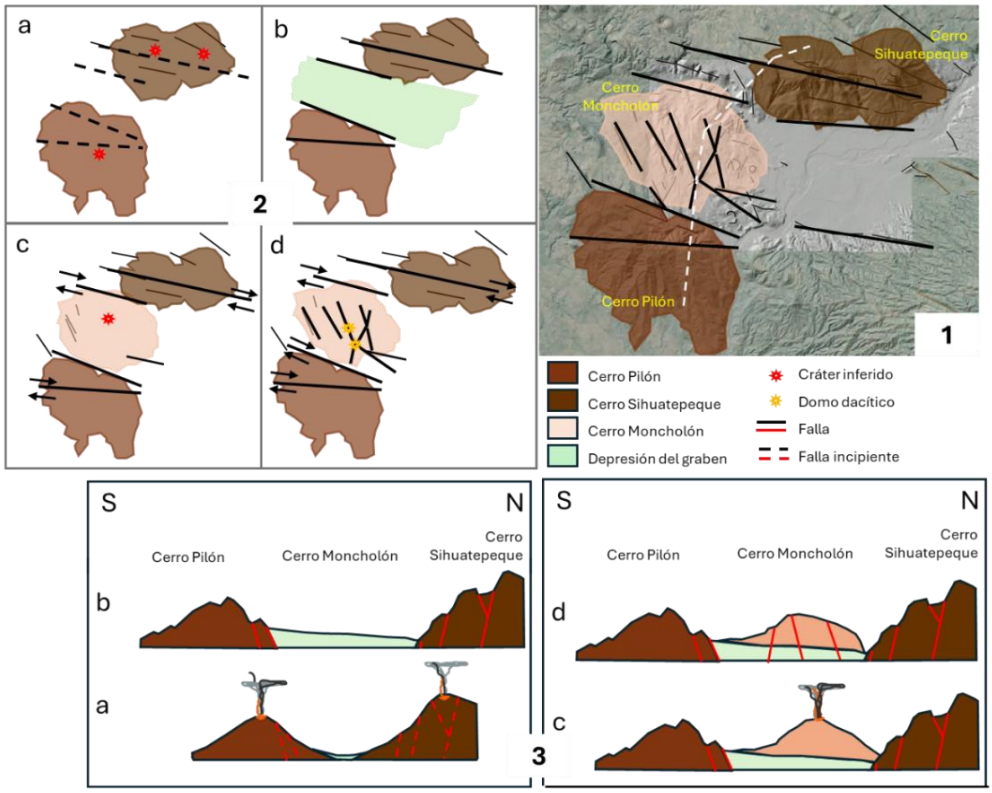

Figura 1: Evolución volcanotectónica del sector occidental de *pull-apart* del río Lempa. Mapa de ubicación aproximada de la sección (1) esquemas de la evolución en planta (2) y en sección N-S (3).

a) Estado inicial volcanes Pilón y Sihuatepeque activos
b) Apertura del graben, fallamiento y colapso parcial de los volcanes
c) Formación volcán Moncholón en el interior del graben
d) Deformación transtensiva, fallamiento y colapso parcial volcán Moncholón.

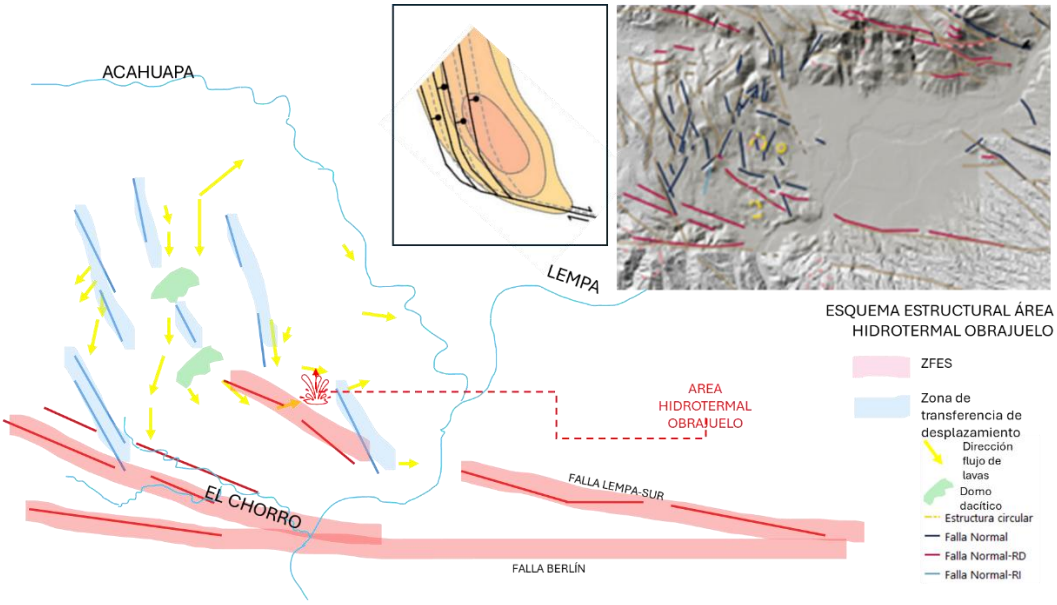

Figura 2: Esquema sinóptico de la propuesta de arreglo estructural para el área hidrotermal de Obrajuelo- En el recuadro ejemplo de sistema de transferencia de desplazamiento [2]

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Alonso-Henar, J. et alG. S.-D.-G. (2015). Neotectonic development of the El Salvador Fault Zone and implications for deformation in the Central America Volcanic Arc: Insights from 4-D analog modeling experiments. *Tectonics, 34*, 133 - 151.

[2] Siler, D. L. (2023). Structural discontinuities and their control on hydrothermal systems in the Great Basin, USA. Geoenergy, geoenergy2023-009.

[3] Meyer Abich, H.; 1953. "Los Ausoles en El Salvador, con un sumario Geológico-Tectónico de la zona volcánica occidental". ITIC. Pg 56-108.

[4] Zilioli, E. 1995. Fotogeología del Volcán de San Vicente (o Chincontepec) y sus alrededores, en la República de El Salvador, América Central). Informe preliminar.

[5] LAGEO; 2003. Estudio geológico del área geotérmica de Obrajuelo – Apastepeque. Proyecto factibilidad Obrajuelo – Apastepeque. Reporte interno. Gerencia de Proyecto, Gerencia de Estudios y Evaluación. Santa Tecla.

[6] Álvarez-Gómez, J.A.; Béjar-Pizarro, M.; Martínez-Díaz, J.J.; García-Mayordomo, J.; Insua-Arévalo, J.M.; Capote del Villar, R. (2006) Caracterización sismotectónica del segmento Ilopango-San Vicente, Zona de Falla de El Salvador. 5ª Asamblea hispano-portugesa de geodesia y geofísica. Sevilla,, España. https://www.researchgate.net/publication/235724274

[7] Faulds, J. E., Hinz, N. H., Dering, G. M., & Siler, D. L. (2013). The hybrid model–the most accommodating structural setting for geothermal power generation in the Great Basin, western USA. Geothermal Resources Council Transactions, 37, 3-10.

[8] LAGEO; 2024. Monitoreo de temperatura de la manifestación hidrotermal de Obrajuelo. Departamento de Estudios. Santa Tecla.

[9] GEOLOGICA; 2024. Geothermal resource assessment of the Obrajuelo-Parras Lempa Geothermal Field, El Salvador. Interim Progress Report: Country visit and site visit findings. The World Bank Group.

[10] Inga, S. M.; 2014. Catalog of geothermal play types based on geologic controls. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.032